

توزیع بهینه انرژی در یک واحد صنعتی در حضور واحد گازی با استفاده از مفهوم هاب انرژی

نوید بشیان

کارشناس ارشد برق - قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

Navidbashian@yahoo.com

امین حجازی

کارشناس ارشد برق - قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده

مهندسی
Aminhejazifum@yahoo.com

مهدی ظریف

دکتر برق - قدرت، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دانشکده فنی و

مهندسی

Zarif.mahdi@ieee.org

محمد حسین جاویدی دشت بیاض

دکتر برق - قدرت، هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی،

آزمایشگاه تجدید ساختار سیستم های قدرت

h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

واژه‌های کلیدی — هاب انرژی؛ مدیریت انرژی؛ سیستم های

یکپارچه انرژی، CHP

۱. مقدمه

با حرکت کشور های توسعه یافته و در حال توسعه به سمت دگرگونی فضای تولید الکتریسیته از جمله بحث تجدید ساختار برای دست یافتن به یک بازار رقابتی و آزاد بجای دولتی و همچنین استفاده از منابع انرژی پراکنده، یافتن یک راه حل برای تحقق مطلوب این امور با حفظ زیر ساخت های موجود امری ضروری خواهد بود. همچنین این راه حل باید با توزیع بهینه انرژی بین مصارف گوناگون به حفظ هرچه بیشتر منابع انرژی برای آیندگان بیانجامد. از طرف دیگر رشد بی سابقه مصرف انرژی و افزایش تنوع روز افزون آن اگر با مدیریت و برنامه ریزی صحیح مواجه نگردد، به افزایش هرچه بیشتر قیمت حامل های مختلف انرژی، اتلاف بی مورد منابع طبیعی و آلودگی بیش از حد محیط زیست منجر خواهد شد.

یکی از مهمترین راه حل های کاربردی برای جلوگیری از مسائل فوق یکپارچه سازی مفهوم انرژی می باشد. به بیانی دیگر در عرصه های مختلف برنامه ریزی، مدیریت، مصرف و بهینه سازی، سیستم یکپارچه

چکیده — مبحث مدیریت انرژی^۱ با توجه به محدودیت های موجود در منابع اولیه آن و نیاز آیندگان به انرژی دارای اهمیت خاصی می باشد. از طرفی گره خوردن این موضوع با مباحث اقتصادی و استراتژیک و همچنین تأثیر گذاری مستقیم بر محیط زیست، عواملی هستند که سبب شده است تحقیقات روز افزونی در بخش های مختلف مدیریت انرژی صورت پذیرد. نتایج این تحقیقات معرفی رویکردهای جدید و از جهاتی مناسب در این موضوعات است. از جمله این رویکردها معرفی مفهومی با نام هاب انرژی^۲ می باشد. غالب صنایع برای تأمین بارهای خود از جمله بار الکتریکی، حرارتی و ... با چند حامل مختلف روبرو هستند. لذا برای حداقل سازی هزینه ها و حتی سودآوری می بایست ترکیبی از این حامل ها را مورد استفاده قرار دهند. در این مقاله علاوه بر معرفی هاب انرژی و بیان روابط مربوطه و مسائل بهینه سازی موجود، با در نظر گرفتن یک واحد صنعتی (بصورت هاب) دارای CHP^۳، کوره و توربین گازی برآینم تا با توزیع بهینه سهم هر حامل، هزینه کل هاب را حداقل نماییم.

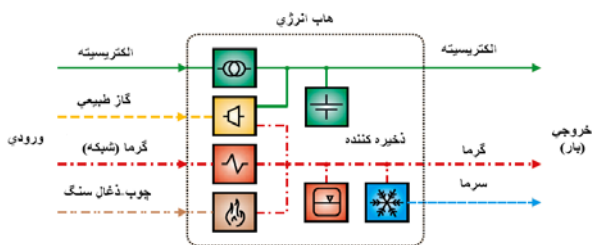
¹Energy management

²Energy Hub

³Combined Heat and Power

انتقال در مسافت طولانی با تلفات کم می باشد. از سوی دیگر حامل های شیمیایی مثل گاز طبیعی به سادگی و با تکنولوژی پایین و ارزان قابل ذخیره سازی هستند. همچنین برای حامل های شیمیایی که از لوله برای انتقال استفاده می کنند، با افزایش فشار حامل، می توان انرژی را ذخیره کرد بدون اینکه نیاز به واحد ذخیره ساز مجزا باشد. از طرف دیگر، توانایی تبدیل اشکال مختلف انرژی در حد تکنولوژی موجود برای استفاده از بهره اقتصادی تفاوت قیمت حامل های مختلف، برای داشتن یک سیستم انرژی چند حاملی یکپارچه ضروری می باشد [۱].

برای مثال با توجه به شکل ۱ ورودی های انرژی در قالب الکتریسیته، گاز طبیعی، گرما و چوب در نهایت به خروجی (بار) الکتریسیته، گرما و سرمایش منجر شده است. اجزای بکار رفته عبارتند از: ترانسفورماتور، CHP، کوره حرارتی، چیلر جذبی و ذخیره ساز الکتریسیته و آب گرم [۱].



شکل ۱- اجزای هاب انرژی

برای مدل سازی هاب با توجه به شکل ۱ حامل های ورودی انرژی را با بردار P_n و حامل های خروجی را با L_m نشان می دهند. این دو بردار از طریق ماتریس توزیع C_{mn} مطابق با رابطه ۱ به هم مربوط می شوند.

$$\begin{bmatrix} L_{\alpha} \\ \vdots \\ L_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{\alpha\alpha} & \dots & C_{\alpha n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{\beta\alpha} & \dots & C_{\beta n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{\alpha} \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

هر درایه ماتریس C نشان دهنده ارتباط بین هر دو حامل ورودی و خروجی می باشد. یعنی ارتباط بین دو حامل α و β را بیان می کند. این ضریب ها دارای قیود زیر هستند:

$$0 \leq C_{\alpha\beta} \leq 1 \quad (2)$$

$$0 \leq \sum_{\beta} C_{\alpha\beta} \leq 1 \quad (3)$$

انرژی مورد توجه قرار گیرد. برای تحقق این یکپارچگی در زیر ساخت های مختلف، سیستم انرژی باید ویژگی های زیر را دارا باشد:

- قابلیت انتقال انرژی
- قابلیت ذخیره سازی انرژی
- قابلیت تبدیل انرژی

هاب انرژی با نگاه یکپارچه به تمامی حامل ها در جهت تشکیل سیستم یکپارچه انرژی، بعنوان واحدی تعبیر می گردد که در آن انرژی قابل تبدیل، انتقال و ذخیره سازی می باشد [۱] و [۲].

از جمله فعالیت های صورت گرفته در زمینه هاب انرژی میتوان به مرجع [۳] اشاره کرد که در آن روابط حاکم بر پخش بار در سیستم های چند حاملی^۴ آورده شده و معادلات بطور مقایسه ای با پخش بار سیستم های تک حاملی استخراج شده اند. مرجع [۴] نیز به معرفی یک روش غیر خطی موسوم به TOOCS-off^۵ برای تحلیل عملکرد بهینه سیستم های چند حاملی می پردازد.

هدف این مقاله در وهله اول انجام بهینه سازی با روش مناسب برای هاب انرژی که دارای یک واحد گازی کوچک، همچنین دارای قابلیت فروش برق به شبکه با تعرفه مشخص است می باشد. در گام بعد به مقایسه پارامترهای اقتصادی در مقایسه با حالت عدم وجود توربین گازی پرداخته خواهد شد.

در ادامه نوشتار و در بخش ۲ پیرامون مفهوم هاب انرژی و فرمول های مقدماتی بحث می شود. در بخش ۳ به معرفی انواع مسائل بهینه سازی پرداخته می شود. بخش ۴ نیز به بیان هاب مورد مطالعه و روش بهینه سازی مورد استفاده می پردازد. در بخش ۵ هم نتایج شبیه سازی نشان داده شده است و در بخش ۶ مراجع مورد استفاده ذکر خواهد شد.

۲. مفهوم و مدل هاب انرژی

همانطور که ذکر شد هاب انرژی واحدی است که در آن اشکال متفاوت انرژی مورد تبدیل، ذخیره و انتقال قرار می گیرند. این امر زمینه مناسب را برای ارتباط هرچه بیشتر این زیر ساخت ها و استفاده توأمان از ویژگی های هر حامل مهیا می کند. برای مثال الکتریسیته حاملی است که دارای قابلیت

⁴ Multi carrier

⁵ TOOCS-off: Offline techno-economic optimal operation of

⁶ Coupling matrix

$$\begin{bmatrix} L_{ge} \\ L_{gh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{gee}^T & \eta_{gee}^{GT} & 0 \\ 0 & \eta_{gh}^{GT} + (1-v)\eta_{gh}^F & \eta_{hh}^{HE} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_e \\ P_g \\ P_h \end{bmatrix} \quad (8)$$

می توان با در نظر گرفتن دو حامل مجزا برای گاز ورودی به CHP و کوره

ضریب توزیع را بصورت زیر حذف کرد [۵].

$$\begin{bmatrix} L_{ge} \\ L_{gh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{gee}^T & \eta_{gee}^{GT} & 0 & 0 \\ 0 & \eta_{gh}^{GT} & \eta_{gh}^F & \eta_{hh}^{HE} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_e \\ P_{g1} \\ P_{g2} \\ P_h \end{bmatrix} \quad (9)$$

در مسأله مطرح شده در ادامه نیز با این تکنیک مشکلات ناشی از

ضریب توزیع و پیچیدگی معادلات حل شده است.

با توجه به اینکه اطلاعات داده شده تا اینجا برای فهم صورت مسأله

کافیست، از اطاله بیشتر این بخش صرفنظر می شود. اما در صورت نیاز، می

توانید توضیحات کاملی را در باره مباحث زیر در مراجع ذکر شده بیابید:

- توان انتقالی بین هاب ها و همچنین بین هاب و شبکه [۶]
- اینترکانکتورها^۸ و معادلات توزیع بهینه بین حامل ها [۷]
- معادلات کامل هاب با در نظر گرفتن ذخیره کننده های انرژی

و مدیریت سمت تقاضا [۸]، [۹]

۳. بهینه سازی انرژی

هدف از بهینه سازی در یک هاب به نوعی انجام پخش بار اقتصادی در آن

است. یعنی برای تأمین بار خروجی هاب، چه ترکیبی از ورودی ها اتخاذ

گردد تا کمترین هزینه ممکن را برای هاب در پی داشته باشد.

بطور کلی هر مسأله بهینه سازی از اجزای زیر تشکیل می شود:

I تابع هدف (که بنا به موقعیت باید حداقل یا حداکثر گردد)

II شروط و قیود موجود اعم از معادله ای و نامعادله ای

دو معادله ی ۲ و ۳ در حقیقت موازنه انرژی هاب هستند و بیان می کنند خروجی هر حامل را فقط ورودی های مربوطه می سازند. به عبارت دیگر انرژی نه بوجود می آید و نه از بین می رود، بلکه از شکلی به شکل دیگر تغییر می کند.

هر حامل ورودی لزوماً به یک تجهیز نمی رود و ممکن است به تجهیزات متعدد منشعب گردد. درصد اختصاص حامل مورد نظر به انشعاب خاص را ضریب توزیع^۷ آن انشعاب گویند. بعنوان مثال بخشی از گاز طبیعی ورودی به CHP (۶۰٪ کل گاز ورودی) و بخشی به کوره حرارتی (۴۰٪ کل گاز ورودی) می رود. این ضریب توزیع را با V_{ak} نشان می دهند که α نشان دهنده حامل مورد نظر و k بیانگر انشعاب مورد نظر از آن حامل می باشد.

$$0 \leq V_{ak} \leq 1 \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_k V_{ak} \leq 1 \quad (5)$$

معادلات ۴ و ۵ بیان ریاضی توضیحات بالا است.

تمامی مطالب این بخش تا اینجا در مثال زیر تحت پوشش قرار می

گیرد.

فرض کنید بار الکتریکی L_e و بار حرارتی L_h قرار است با ورودی های

الکتریسیته، گاز طبیعی و حرارت تأمین شود. دو معادله ی ۶ و ۷ را که نشان

دهنده نحوه توزیع انرژی است را بصورت معادله ماتریسی ۸ در آورده ایم.

$$L_e = \eta_{ee,T} P_e + \eta_{ge,GT} P_g$$

(۶)

$$L_h = \eta_{gh,GT} P_g + (1-v)\eta_{gh,F} P_g + \eta_{hh,HE} P_h \quad (7)$$

که در آن $\eta_{ee,T}$ ، $\eta_{ge,GT}$ ، $\eta_{gh,GT}$ ، $\eta_{gh,F}$ و $\eta_{hh,HE}$ به ترتیب راندمان

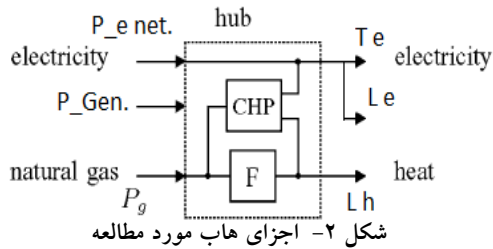
ترانس، بخش برقی CHP، بخش حرارتی CHP، کوره و مبادل حرارتی می

باشد. رابطه ۱ بصورت زیر نوشته می شود:

⁸ Interconnector

⁷ Dispatch Factor

حامل های انرژی و اجزای هاب مورد مطالعه نیز در شکل ۲ آمده است.



جدول ۱- الگوی مصرف بار داخلی و قیمت حامل های ورودی و خروجی مربوط به شبکه

ساعت	بار الکتریکی (pu)	بار حرارتی (pu)	تعرفة برق	تعرفة گاز طبیعی (mu/pu)	ترفة برق خروجی (mu/pu)
۰	۵	۲	۵	۳	۲
۱	۲	۲	۵	۳	۲
۲	۲	۲	۵	۳	۲
۳	۲	۳	۵	۳	۲
۴	۵	۳	۵	۳	۲
۵	۶	۳	۵	۳	۲
۶	۸	۴	۷	۳	۷
۷	۸	۵	۷	۳	۷
۸	۱۰	۵	۷	۳	۷
۹	۹	۳	۷	۳	۷
۱۰	۱۱	۴	۷	۳	۷
۱۱	۱۲	۷	۷	۳	۷
۱۲	۱۲	۵	۷	۳	۷
۱۳	۱۲	۸	۱۱	۳	۱۳
۱۴	۱۲	۹	۱۱	۳	۱۳
۱۵	۱۲	۱۰	۱۱	۳	۱۳
۱۶	۱۱	۷	۷	۳	۷
۱۷	۹	۶	۷	۳	۷
۱۸	۸	۵	۷	۳	۷
۱۹	۷	۴	۷	۳	۷
۲۰	۱۰	۶	۱۱	۳	۱۳
۲۱	۷	۵	۱۱	۳	۱۳
۲۲	۶	۲	۱۱	۳	۱۳
۲۳	۲	۲	۱۱	۳	۱۳

حامل های خروجی به دو دسته بار داخلی (الکتریسته و حرارت) و الکتریسته فروشی به شبکه تقسیم می شود. حامل های ورودی نیز الکتریسته و گاز طبیعی شبکه سراسری است. البته برق تولیدی از ژنراتور را که در داخل هاب تولید می شود، برای سادگی بصورت ورودی نشان داده ایم. بنابراین ژنراتور گازی از عناصر درونی هاب محسوب می شود. سایر عناصر عبارتند از:

✓ ترانسفورماتور که راندمان آن واحد فرض شده است.

هر مسأله بهینه سازی دارای ویژگی های خاص خود می باشد که راه حل مناسب خود را می طلبد. به همین دلیل در ادامه بطور مختصر به انواع مسائل بهینه سازی موجود می پردازیم. لازم به ذکر است مطالبی که مطرح خواهند شد با فرض تابع هدف غیرخطی و همینطور شروط غیرخطی است.

a. Nonlinear programming (NLP) problems

یعنی یک مسأله غیرخطی با متغیرهای پیوسته که دارای روابط ۱۰ و ۱۱ است.

$$\text{Minimize } F(x) \quad (10)$$

$$\text{Subject to: } g(x) = 0, \quad h(x) \leq 0 \quad (11)$$

که در آن x بردار متغیرهای پیوسته، $F(x)$ تابع هدف، $g(x)$ بردار شروط مساوی و $h(x)$ بردار شروط نامساوی است.

b. Mixed-Integer Nonlinear Problems (MINLP)

که بیان گر مسأله ای با متغیرهای پیوسته توأم با متغیرهای صحیح می باشد، روابط ۱۲ و ۱۳.

$$\text{Minimize } F(x,y) \quad (12)$$

$$\text{Subject to: } g(x,y) = 0, \quad h(x,y) \leq 0 \quad (13)$$

y در معادلات بالا نشان دهنده متغیر بهینه سازی شده صحیح می باشد.

c. Multi-Period Problems (MP)

این بخش مشتمل بر مسائلی با دوره زمانی فراتر از یک لحظه و با بازه های زمانی متعدد می باشد، روابط ۱۴ و ۱۵.

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^{N_t} F_t(x) \quad (14)$$

$$\text{Subject to: } g_t(x) = 0, \quad h_t(x) \leq 0 \quad (15)$$

برگرفته از [۵].

۴. هاب مورد مطالعه

در یک واحد صنعتی با ورودی و خروجی های متنوع، مهمترین اصل توزیع بهینه بین حامل های متفاوت و حداقل کردن هزینه کل واحد خواهد بود. برای نشان دادن این مطلب از یک واحد صنعتی با بار مشخص استفاده شده است. بار ۲۴ ساعته هاب و تعرفه های حامل های ورودی و خروجی در قالب جدول ۱ آمده است.

⁹ Money Unit

Ψ نشان دهنده قیمت حاشیه ای حامل های ورودی و Λ نشان دهنده قیمت حاشیه ای حامل های خروجی است [۳].

✓ کوره حرارتی^{۱۰} که گاز طبیعی را به حرارت تبدیل می کند با راندمان ۰.۷۵

۵. نتایج شبیه سازی

نتایج مسأله بصورت مقایسه ای بین دو حالت حضور و عدم حضور واحد گازی آورده می شوند. در شکل های ۳ و ۴ به ترتیب میزان کاهش توان الکتریکی خریداری شده از شبکه و میزان افزایش توان فروخته شده به شبکه را در حضور واحد گازی ملاحظه می نمایید.

✓ واحد CHP با راندمان الکتریکی ۰.۳ و راندمان حرارتی ۰.۴

محدودیت حامل ها در سمت ورودی و خروجی، همچنین حدود برق تولیدی ژنراتور داخلی بصورت زیر فرض می شود (شرط نامعادله ای):

$$0 < P_{e\ net} < 1 ; 0 < P_{Gen} < 7 ; 0 < P_{gchp} < 10$$

$$0 < P_{gF} < 14 ; 0 < T < 1$$

تابع هزینه ژنراتور گازی نیز بصورت زیر است:

$$Generator\ Cost = 10P_{Gen} + 0.01P_{Gen}^2$$

تابع هدف بصورت تفاضل هزینه و سود هاب طبق رابطه ۱۶ زیر تعریف می شود [۱۰].

$$THC^{11} = TC^{12} - TB^{13} \quad (16)$$

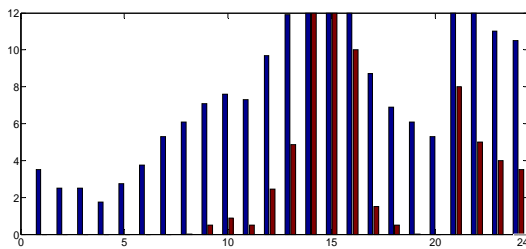
شرط معادله ای مسأله نیز رابطه $L=CP$ است.

اگرچه در این جا با یک مسأله NLP در بازه یک شبانه روز و نه یک لحظه مواجهیم، اما شبیه سازی را برای هر ساعت بطور مستقل انجام می دهیم.

برای حل مسأله فوق با توجه به [۱۱] از تابع `fmincon` در نرم افزار متلب استفاده شده است. بعلت عدم پیچیدگی مسأله نیازی به استفاده از الگوریتم PSO^{14} جهت یافتن مقدار اولیه مناسب نیست. اما در صورت پیچیدگی و حجم زیاد و در نتیجه عدم همگرایی، باید شرط اولیه مناسب بکمک الگوریتم PSO پیدا شود.

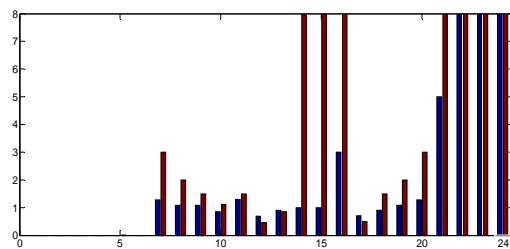
قیمت (هزینه) حاشیه ای^{۱۵} حامل های خروجی مربوط به بار داخلی بعد از اتمام بهینه سازی از طریق رابطه ۱۷ محاسبه می گردد.

$$\Psi = \Lambda C \quad (17)$$



شکل ۳- مقایسه توان الکتریکی در یافتی از شبکه در دو حالت حضور(رنگ

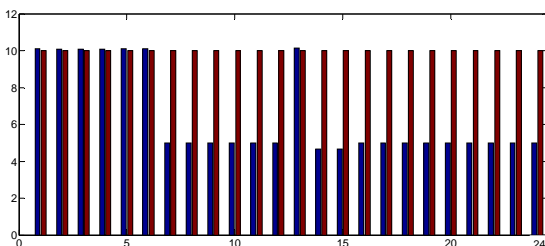
قرمز) و عدم حضور واحد گازی(رنگ آبی)-[pu-hour]



شکل ۴- مقایسه توان الکتریکی فروخته شده به شبکه در دو حالت حضور(رنگ

قرمز) و عدم حضور واحد گازی(رنگ آبی)-[pu-hour]

شکل ۵ نیز نشان دهنده مقایسه بین قیمت حاشیه ای خروجی الکتریسته (L_e) در دو حالت حضور و عدم حضور واحد گازی می باشد.



شکل ۵- مقایسه قیمت حاشیه ای الکتریسته خروجی (L_e) در دو حالت

حضور(رنگ قرمز) و عدم حضور واحد گازی(رنگ آبی)-[mu/pu-hour]

¹⁰ Furnace

¹¹ Total Hub Cost

¹² Total Cost

¹³ Total Benefits

¹⁴ Particle Swarm Optimization

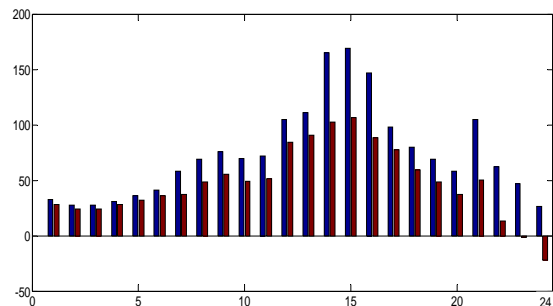
¹⁵ Marginal Cost

مقاله حاضر با در نظر گرفتن یک واحد گازی با تابع هزینه و قیود مشخص به انجام فرآیند بهینه سازی انرژی در این سیستم (مشمول بر هاب و واحد گازی) پرداخته شد و نتایج مورد تحلیل واقع گشت. انتخاب این نوع سیستم برای انجام شبیه سازی به این خاطر است که در آینده نزدیک قدرت با توسعه فضای تجدید ساختار مواجه خواهد شد و امکان فروش برق در سطوح کوچک به شبکه، مهیا می شود و ارائه راه حل هایی در زمینه بهینه سازی مطلوب انرژی در این سیستم ها ضروری بنظر می رسد.

۷. مراجع

- [1] M.Geidl, G.Andersson et all "Energy hubs for the future", IEEE Power and Energy Magazine, January/February 2007
- [۲] ابوالفضل قاسمی و محمد حسین جاویدی "توزیع بهینه یکپارچه در سیستم های انرژی چند حاملی با عنصر ذخیره کننده" بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی PSC پاییز ۱۳۸۹
- [3] M.Geidl, G.Andersson "Optimal Power Flow of Multiple Energy Carriers" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, NO.1, February 2007
- [4] R.Hashemi "A Developed Offline Model for Optimal Operation of Combined Heating and Cooling and Power Systems" IEEE Transactions ON Energy Conversion, Vol. 24, NO. 1, 2009
- [5] M.Geidl "Integrated Modeling and Optimization of Multi-Carrier Energy Systems" of dissertation for the degree of Doctor of Sciences, 2007
- [6] M.Geidl, G.Andersson "A Modeling and Optimization Approach for Multiple Energy Carrier Power Flow" the research project Vision of Future Energy Networks, Power Systems Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland
- [7] M.Geidl, G.Koeppel, P.Perrod, B.Klöckl, G.Andersson and K.Fröhlich "The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Systems" Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry, 2007
- [8] F.Kienzle, P.Ahčin and G.Andersson "Valuing Investments in Multi-Energy Conversion, Storage, and Demand-Side Management Systems Under Uncertainty" IEEE Transactions On Sustainable Energy, Vol. 2, NO. 2, April 2011.
- [9] M.Geidl, G.Andersson "Optimal Coupling of Energy Infrastructures" the research project Vision of Future Energy Networks
- [10] M.Schulze, L.Friedrich and M.Gautschi "Modeling and Optimization of Renewables: Applying the Energy Hub Approach" ICSET 2008 IEEE
- [11] T.Krause, F.Kienzle, Y.Liu and G.Andersson "Modeling Interconnected National Energy Systems Using an Energy Hub Approach" Paper accepted for presentation at the 2011 IEEE Trondheim PowerTech

همچنین لازم به ذکر است که قیمت حاشیه ای بار حرارتی (L_h) برای دو حالت مذکور تفاوتی نکرد و مقدار آن ثابت و برابر $4 \mu/\text{pu}$ ثبت شد. مشاهده می شود که در حضور واحد گازی در اکثر ساعات قیمت حاشیه ای بار الکتریسیته (L_e) افزایش می یابد. دلیل این امر آن است که تابع هدف در جهت کاهش هزینه کل هاب تنظیم شده است و نه در جهت قیمت حاشیه ای بار های خروجی. بنابراین با اضافه شدن واحد گازی به هاب انرژی، میزان الکتریسیته فروشی به شبکه افزایش چشمگیری دارد (طبق شکل ۴) و این منبع اصلی درآمد هاب و سبب کاهش هزینه کل است. همچنین میزان توان الکتریکی دریافتی از شبکه در اکثر ساعات کاهش می یابد (مطابق شکل ۳) که به کاهش هزینه کمک می کند. از طرفی هزینه تولید انرژی واحد گازی و افزایش قیمت حاشیه ای بار الکتریکی داخلی (L_e) در جهت عکس، موجب افزایش بخشی از هزینه ها (و نه هزینه کل) می گردد، اما برآیند تمامی این کاهش ها و افزایش ها به کاهش هزینه کل هاب مطابق با شکل ۶ می انجامد.



شکل ۶- مقایسه هزینه کلی هاب در دو حالت حضور (رنگ قرمز) و عدم

حضور واحد گازی (رنگ آبی) - [mu-hour]

همانطور که در شکل بالا ملاحظه می کنید هزینه کلی هاب در تمامی ساعات در حضور واحد گازی کاهش می یابد. همچنین در ساعات ۲۲ و ۲۴ این هزینه به سود برای هاب انرژی تبدیل شده است.

۶. نتیجه گیری و جمع بندی

هدف اصلی مقاله، انجام بهینه سازی در جهت کاهش هزینه واحد های صنعتی دارای چند حامل انرژی می باشد. در واحد صنعتی مذکور حامل های الکتریسیته و گاز طبیعی (شبکه سراسری برق و گاز)، ورودی سیستم هستند. همچنین بار واحد صنعتی عبارت است از الکتریسیته و حرارت (L_e) و L_h . بعلاوه خروجی توان الکتریکی به شبکه (T_e) که می تواند به کاهش هزینه هاب کمک کند و حتی سبب سودآوری شود. اجزای واحد صنعتی که بصورت هاب مدل شده است نیز عبارتند از: CHP و کوره حرارتی. در